

İLKÖĞRETİM OKULLARINDA BİNA-İÇİ ÇEVRESEL KALİTE: İZMİR ÇALIŞMASI SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Sait C. SOFUOĞLU
Aysun SOFUOĞLU

ÖZET

İzmir'de, ikisi kentsel biri yarı kentsel alanda yer alan üç ilköğretim okulunda, bina-içi hava uçucu organik madde, yarı-uçucu organik madde, partikül madde, partikül maddede element ve inorganik gaz kirletici derişimleri ölçülmüştür. Anket uygulaması yapılarak, bina-içi çevresel kalite ile ilgili semptomların yaygınlığı çalışılmıştır. Bina-içi konfor değişkenlerinin konfor aralığı dışında bulunma oranları özellikle kışın yüksek değerler almıştır. Bina-içi hava CO₂ derişimleri dersliklerde havalandırmanın yeterli olmadığını göstermiştir. Uçucu organik bileşiklerden formaldehit, benzen, naftalin, toluen ve 1,3-diklorobenzenin yüksek bina-içi derişimlere ulaşabildiği görülmüş, ve formaldehit ve benzenin birincil düzeyde, naftalin ve toluenin de ikincil düzeyde önemli sağlık riski yaratabileceği bulunmuştur. Yarı-uçucu organik bileşiklerden poliklorlu bifeniller (PCB) ve polibromlu difenil eterler (PBDE) grubu kirleticilerin bina-içi havada buldukları ve içeride kaynakları olabileceği görülürken, sentetik koku bileşiklerinin bir derslikte yapılan çalışma ile okul binalarında hem gaz hem de partikül fazda bulunabildikleri ve gaz fazda önemli düzeyde derişimlere eriştikleri belirlenmiştir. İnorganik gazlardan ozon için, bulgular iç hava ozon derişimlerinin, dış hava ozonu ile ilintili olduğunu ve hassas insanlarda sağlık etkisi yaratma sınırının altında kaldığı yönündedir. Karbon monoksit ise neredeyse tüm ölçümlerde ya tespit sınırı olan 1 ppm'in altında ya da oldukça düşük derişimlerde bulunmuştur. Partikül madde için elde edilen dane sayısı – boyut dağılımları, kütle – boyut dağılımları, bina-içi hava ve dış hava derişimi bulguları, partikül madde kaynağının dış hava olduğu ancak çocukların hareketliliği sebebiyle bina-içi mikroçevrelerde derişimlerin dış hava derişimlerinin üzerine çıkabildiğini göstermiştir. Boyut ayırmalı kütleli PM derişimleri göstermektedir ki, ince partiküllerin (PM_{2.5}) çoğunluğu ultra ince partiküllerdir (PM₁) ve ultra ince partiküller ince partiküllere göre sayıca 2-5 kat daha yüksek derişimlerde bulunmaktadır. Partikül maddede Al, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Zn elementleri tespit edilmiş olup kütle-boyut dağılımlarının ultra ince boyutlarında görülen zirveler, hem ağırlıklı yerküre kaynaklı hem de ağırlıklı insan aktiviteleri kaynaklı elementler için ultra ince fraksiyonun önemli olduğunu göstermiştir. Elde edilen bu sonuçlar temel alınarak genel bir değerlendirme yapılmış ve milli eğitim / okul yönetimlerine yönelik çocukların kirletici maruziyetlerini azaltmak hedefli pratik öneriler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: ilköğretim okulları, bina-içi çevresel kalite, partikül madde, iz metaller, ozon, uçucu organik bileşikler, yarı-uçucu organik bileşikler, konfor.

ABSTRACT

Indoor air volatile organic compound, semi-volatile organic compound, particulate matter, elements in particulate matter, and inorganic gaseous pollutant concentrations were measured in three primary schools in İzmir, Turkey. Prevalence of building related symptoms were determined by a questionnaire survey. Bina-içi konfor değişkenlerinin konfor aralığı dışında bulunma oranları özellikle kışın yüksek değerler almıştır. Values of the comfort variables were heavily outside the comfort range especially in winter. CO₂ concentrations were measured, which showed that ventilation in classrooms were not sufficient. Formaldehyde, benzene, naphthalene, toluene, and 1,3-dichlorobenzene reached at high concentration levels, among which formaldehyde and benzene were classified as the primary,

naphthalene and toluene were classified as secondary category volatile organic compounds based on associated health risk levels. Polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenylethers were detected in primary school indoor air, which may had sources indoors. Synthetic musk compounds were studied in one school. They were found in both gas and particulate phases. Their gas phase concentrations were at significant levels. One of the studied inorganic gases, ozone, was found to be related to outdoor ozone. The ozone concentrations were below the demarcation level for health effects on sensitive population subgroups. Carbon monoxide was detected at very low concentrations or not detected at all in majority of the samples. The number-size and mass-size distributions of particulate matter, indoor and outdoor concentrations point to outdoor air as the source, however, indoor concentrations exceed outdoors possibly due to vigorous movement of the children during the breaks. Size segregated PM mass concentrations showed that majority of the fine particles (PM_{2.5}) is actually ultra fine particles (PM₁) which were at concentrations that are 2 to 5 times the fine fraction. Al, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, and Zn were determined in indoor PM. The peaks in ultrafine section of the mass-size distributions showed that this size fraction is important both in terms of crustal and anthropogenic elements.

Keywords: primary schools, indoor environmental quality, particulate matter, trace metals, ozone, volatile organic compounds, semi- volatile organic compounds, comfort.

GİRİŞ

Göz, burun, boğaz, ve deri tahrişi, solunumda zorluk, baş ağrısı, yorgunluk, baş dönmesi gibi bina sakinleri tarafından sergilenen ve genellikle binadan ayrılınca iyileşme görülen semptomlar Bina ile İlgili Semptomlar olarak bilinirler, bu durum önceden Hasta Bina Sendromu olarak adlandırılırdı. Bu sağlık etkilerine sendrom adı altında genel bir isim verilmiş olmasının sebebi anlamlı ve yaygın bir şekilde bina-içi çevresel şartlarla ilişkilendirilememeleridir; dolayısıyla spesifik olmayan semptomlar olarak adlandırılırlar. Bu spesifik olmayan semptomlar, genelde kişisel, fizyolojik, ve bina-içi çevresel kalite faktörlerin etkisiyle ortaya çıkarlar. Özellikle ilköğretim yaşlarında olan çocuklar, kirlenici maddelerin olumsuz etkilerinin gerek ortaya çıkması, gerekse etkinin şiddeti konusunda büyüklerden daha dezavantajlı konumda olduklarından toplum içerisindeki 'hassas alt grup'lar arasında yer almaktadırlar. Ayrıca, genel itibarla okullarda bina-içi çevresel kalitenin Batılı ülkelerde iyi yönetilmediğinden bahsedilirken, ülkemizde henüz yönetilmesi gereken bir unsur olduğu bilinci oluşmamıştır. Bu bilincin oluşturulabilmesi açısından, ülkemizde henüz çok az bilgi üretilmiş olan, çocukların günlük zamanlarının yaklaşık %30'unu geçirdikleri okullarda buldukları çevresel şartlar önem arz etmektedir.

Bina-İçi Çevresel Kalite iki ana başlık altında değerlendirilmektedir: ortam havasında bulunan hava kirlenici seviyelerinin belirlediği Bina-İçi Hava Kalitesi ve Çevresel Konfor Değişkenleri seviyelerinin belirlediği bina-içi çevresel konfor. Bina-içi hava kalitesi, partikül ve gaz fazdaki organik ve inorganik kirlenici derişimlerini ifade eder. Bu kirleniciler arasında, inorganik gaz faz kirlenicileri (ozon, karbon monoksit, vd.), inorganik partikül faz kirlenicileri (PM_{2.5}, kurşun gibi çeşitli elementler), hem gaz hem de partikül fazda bulunabilen poliaromatik hidrokarbonlar (PAH), poliklorlu bifeniller (PCB), polibromlu difenil eterler (PBDE) gibi Yarı-Uçucu Organik Maddeler (YUOM) ile ağırlıklı gaz fazında bulunan Uçucu Organik Maddeler (UOM) yer almaktadır. Konfor değişkenleri arasında sıcaklık, nispi nem, hava akım hızı, gürültü, titreşim ve ışık şiddeti gibi faktörler yer almaktadır.

Bina-içi çevresel konfor, öğrencilerin ortamdaki rahatlarını belirleyici etkenler arasında yer aldıkları için direkt olarak öğrenme performanslarıyla ilişkilidir. Çevresel konfor değişkenleri değerlerinin belirli sınırlar dahilinde tutulması bu açıdan önem taşımaktadır. Bina-içi hava kirlenicilerinin derişimleri ise direkt olarak öğrencilerin sağlığı, dolaylı olarak da öğrenme performansları ile ilgilidir. Bina-içi hava kirlenicilerinin kimi kanserojenik, kimi toksik, kimi de her iki özelliği birden barındıran maddelerdir. Ayrıca, akut etkileri olan allerjik semptomlara yol açan, solunum yolu rahatsızlıklarını tetikleyen ozon ve çeşitli uçucu organikler gibi gaz kirleniciler, çocukların dikkatlerinin dağılmasına, doktora gitmelerine ve en sonunda da okula devamsızlıklarına yol açtığı için başarı ile indirekt yolla da ilintilidirler. Bu

sebeplerle, okullarda öğrencilerin buldukları çevresel şartların değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

İlgili literatürün kritik değerlendirmesinde [1] bina-içi çevresel kalitenin bina-içi hava kirleticileri ve sıcaklık şartları için kişilerin başarısına ve devamına etkisi olup olmadığını hem doğrudan hem de dolaylı ilişki için araştırmışlardır. Direk ilişki olarak bakıldığında güçlü tasarım özelliklerine sahip çalışmalar içinde yüksek NO₂ derişimleri ile devamda azalma arasında bir ilişki bulunmuş, diğer çalışmalar içinde de düşük havalandırma oranı ile düşük başarı arasında bir ilişki görülmektedir. Dolaylı ilişkiler incelendiğinde birçok çalışmanın bina-içi rutubetlilik ve – genellikle evlerde – mikrobiyolojik kirleticiler ile astımın ağırlaşması ve solunum yolu iltihaplanmaları ve dolayısıyla başarı düşmesi ve devamsızlık arasında ilişki rapor ettiği görülmüştür. Ek olarak, bir çok çalışma çocuklar ve yetişkinlerde yetersiz bina-içi çevresel kalite ile olumsuz sağlık etkileri arasında ilişki ortaya koymakta ve okullarda rutubet ve yetersiz havalandırma ile sıkça karşılaşıldığını belirtmektedir. Yazarlar, mevcut literatürü bir bütün olarak değerlendirdiğinde, genelde okullarda bina-içi çevresel kalitenin yetersiz olduğu bunun çocukların başarılarını düşürüp devamsızlıklarını artırdığı kanısına ulaşmışlardır. Bu çocukların, kötü bina-içi hava kalitesi sebebiyle hastalanmaları yoluyla olmaktadır. Sonuçlar, okullarda bina-içi çevresel kalitenin değerlendirilmesi ve sonuçlara göre gerekli tedbirlerin alınması ve kalitenin artırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu sebeple, gerek bina-içi çevresel kalitenin değerlendirilmesi gerekse kalite artırımı için özel araştırmaların yapılması gerekmektedir.

Bu çalışma, İzmir’de seçilen üç ilköğretim okulunda bina-içi çevresel kaliteyi ve öğrencilerin semptomatik durumlarını belirlemeyi amaçlamıştır. Bina-içi çevresel kalite ölçümleri çerçevesinde bina-içi hava kalitesi ve çevresel konfor değişkenlerinin seviyeleri ölçülmüştür. Ölçülen bina-içi hava kirleticileri arasında CO, O₃, boyut ayrımlı partikül madde, partiküllerde metaller, PCB ve PBDE’ler, ve UOB’ler yer almıştır. Örnekleme, okulların açık bulunduğu üç mevsimi (sonbahar, kış, ilkbahar) kapsayacak şekilde planlanmış, ancak bu planlama farklı kirleticiler için şartlar çerçevesinde farklı düzeylerde gerçekleşmiştir. Okul içinde öğrencilerin vakitlerini geçirdikleri üç ana mikroçevrede (derslik, anasınıfı, açık hava oyun bahçesi) örnekleme ve ölçümler yapılmıştır.

MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada İzmir ili sınırları içinde yer alan üç ilköğretim okulunda ölçümler yapılmıştır. Bu okullardan ikisi kentsel olarak tarif edebileceğimiz metropol alanının içinde yer alırken, üçüncü okul yarı-kentsel alanda (Urla ilçe merkezinde) bulunmaktadır. Kentsel alanda yer alan okullardan birisi (Okul-1) Balçova ilçesinde, diğeri ise (Okul-2) Konak ilçesindedir. Urla’daki okul, bu bildiride Okul-3 olarak isimlendirilmiştir.

UOB için USEPA TO-17 metodu izlenerek 11:00 ile 14:00 saatleri arasında 1 saatlik örnekleme yapılmıştır. Örnekleme Tenax TA tüplerine yapılmıştır. Sorbent tüplerinde toplanan UOB, termal desorber ünitesini (UNITY, Markes) takiben bir gaz kromatograf (GC) (Agilent 6890N) ile analiz edilmiştir. GC’yi takiben bir kütle spektrometri (MS) detektörü (Agilent 5973Nms) UOB’i tanımlamak ve miktarlarını belirlemek için kullanılmıştır. UOB analizi 51 adet bileşik (LGC-Promochem) için yapılmıştır. Formaldehit ölçümleri USEPA TO-11 metodu ile yapılmıştır. Bir saatlik örnekler tek kullanımlık DNPH-formaldehit sorbent tüpleri ile yapılmıştır. Ekstraksiyon işlemi için %99,9 saflıkta acetoneitril (Merck) kullanılmıştır. Sorbent tüpünden havanın giriş yönüne ters şekilde 6 ml asetoneitril geçirilerek, ekstrakt teflon kapaklı vialerde toplanmıştır. Formaldehit analizi HPLC (Agilent 1100) ile Zorbax (4,6-mm ID x 25-cm) kolonu kullanılarak yapılmıştır. Ozon derişimi ölçümleri UV-fotometrik yöntemle çalışan Thermo marka 49i model cihaz ile saatlik ortalama olarak sürekli yapılmıştır. İki farklı tip partikül madde derişimi (dane sayısı ve kütle) belirlenmiştir. Dane sayısı derişimi için ClMet CI-450 lazer optik uçuşan partikül sayacı kullanılmıştır. Bu cihaz dört boyut aralığında (>5 μ m, 1,0–5,0 μ m, 0,5–1,0 μ m ve 0,3–0,5 μ m) sayım yapabilmektedir. Partikül kütle derişimi içinse bir Sioutas impaktör kullanılmıştır. Bu impaktör ile 9 litre/dak debi ile beş ayrı katmana yerleştirilen filtreler üzerine <0,25 μ m, 0,5–0,25 μ m, 1,0–0,5 μ m, 2,5–1,0 μ m ve >2,5 μ m boyut aralıklarında partiküller toplanabilmektedir. Elementel analiz yapabilmek üzere 25-mm, 0,5 μ m nominal pore diameter PTFE membran filtreler kullanılmıştır. Partikül maddeden iz elementler mikrodalga-nitrik asit özütleme

uygulanarak ekstrakte edilmiş ve ekstraktlar ICP-MS (Agilent 7500ce series) cihazı ile tahlil edilmiştir. Yarı-uçucu organik bileşikler (PCB, PBDE ve SMC) poliüretan köpük üzerinde tutulmuş, temizleme, özütleme, fraksiyonlara ayırma ve deriştirme işlemlerinden sonra sıcaklık programlı buharlaştırıcısı bulunan bir gaz kromatograf (Thermo, Trace GC Ultra) cihazına bağlı MS (Thermo, DSQII) dedektörü olan bir sistem ile tahlil edilmiştir. PCB ve SMC için elektron iyonizasyon (EI), PBDE için negatif kimyasal iyonizasyon (NCI) modu kullanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Uçucu Organik Bileşikler

Bina-içi havada dış havaya göre daha yüksek derişimler ölçülmüş, yersel ve mevsimsel değişkenlikler anlamlı bulunmamıştır. Bu bilgiler, profilleri domine eden UOB için iç kaynakların gücüne işaret etmektedir, ancak dış havanın etkisinin yok sayılamayacağını gösteren veriler de bulunmuştur. UOB profilleri derslikler, anasınıfları ve dış hava arasında farklılık göstermiş, dersliklere nazaran anasınıflarında daha yüksek derişimler bulunmuştur. Yapı ve dekoratif malzemeler, öğretim malzemeleri vb. kaynakları yansıtan dominant bileşiklere (formaldehit, toluen, benzen ve ksilenler) ek olarak koku giderici, böcek (güve) kovucuları ve temizlik malzemelerinin etkilerini gösteren naftalin ve 1,4-diklorobenzen diğer dikkat çekici bileşikler olmuşlardır. Bu projede ölçülen UOB arasında, kronik-toksik sağlık etkileri açısından, formaldehit birincil derecede önem arz eden bileşik olarak belirlenirken bunu benzen, naftalin ve toluen ikinci grup kirleticiler olarak takip etmiştir. Formaldehit ve benzen, kabul edilebilir düzeyin üzerinde kanser risk değerleriyle azami önem verilmesi gereken bileşikler olarak saptanmıştır. Kronik toksik ve karsinogenik risk değerleri Tablo 1'de sunulmuştur. Detaylı bilgi, proje sonuç raporu [2] ve uluslararası literatür raporunda [3] bulunabilir.

Tablo 1. Uçucu Organik Bileşikler İçin Risk Değerlendirmesi Sonuçları

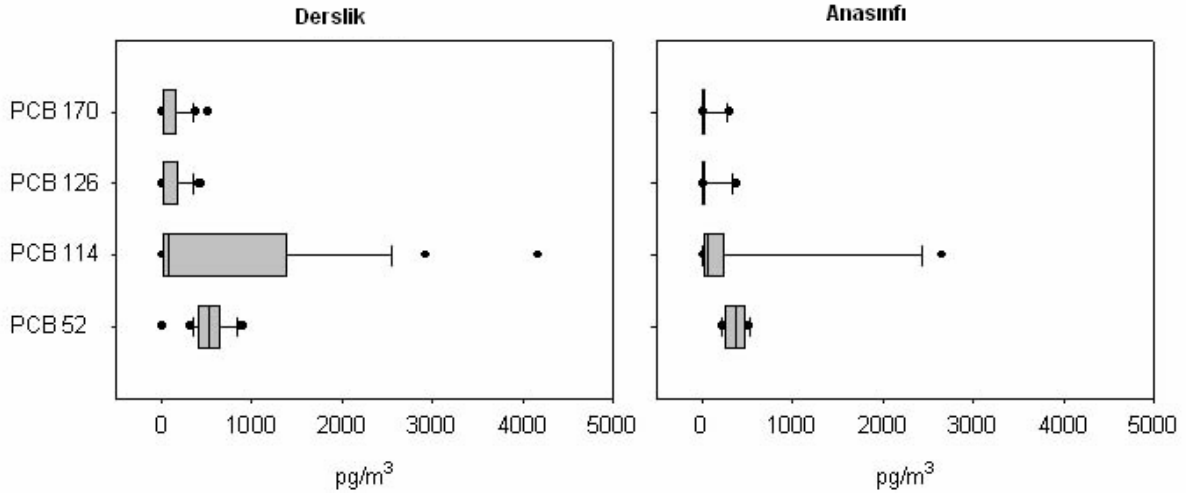
İstatistik	Kronik Toksik Risk		Karsinogenik Risk	
	Benzen	Naftalin	Benzen	Formaldehit
Ortanca	0,22	0,47	$6,5 \times 10^{-7}$	$9,1 \times 10^{-6}$
Ortalama	0,31	0,54	$1,0 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-5}$
90. yüzdilik	0,61	0,96	$2,1 \times 10^{-6}$	$1,6 \times 10^{-5}$
95. yüzdilik	0,84	1,13	$3,0 \times 10^{-6}$	$1,8 \times 10^{-5}$
Dağılım	Lognormal	Lognormal	Lognormal	Lognormal
μ	0,30	0,55	$1,0 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-5}$
σ	0,29	0,33	$1,2 \times 10^{-6}$	$4,3 \times 10^{-6}$

Yarı-Uçucu Organik Bileşikler

Bina içi hava örnekleri 28 PCB izomeri için analizlendi. Analizi yapılan izomerler içinde PCB 52, 114, 126, ve 170 bütün örneklerde tespit edilirken diğerleri cihazın dedeksiyon limitinin altında kaldığından hesaplar yalnızca bu 4 PCB izomerini içerecek şekilde yapıldı. Her bir PCB derişimi dedeksiyon limitinin altından 4163 pg/m^3 (PCB114) kadar değişen derişimlerde bulundu. Şekil 1'de görüleceği üzere dersliklerde yapılan ölçümlerde elde edilen değerler anasınıfı değerlerinden daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Toplam PCB ($\Sigma_4\text{PCB}$) değerleri hesaplandığında ortalama $\Sigma_4\text{PCB}$ değeri derslikler için 1428 pg/m^3 iken anasınıfı için bu değer 921 pg/m^3 olmuştur.

Bina içi hava örnekleri 7 PBDE izomeri için analiz edildi. Bu izomerlerden PBDE 28 ve PBDE 33 kolondan aynı anda ayrılmakta olup, bu dakikada gözlenen pik PBDE 28/33 olarak tanımlandı. Literatürde en sık tespit edilen PBDE izomerleri PBDE 47 ve PBDE 99'dur [4-5]. Bu çalışmada ise bu iki izomer, örneklerin sırasıyla %21'i ve %26'sında tespit edildi. Tablo 2'de listelendiği gibi, PBDE 28/33 dışındaki tüm izomerler, örneklerin %50'sinden fazlasında dedeksiyon limitinin altında kaldı. Bu nedenle hesaplamalar sadece PBDE 28/33 için yapıldı. PBDE 28/33 derişimleri dedeksiyon limitinin

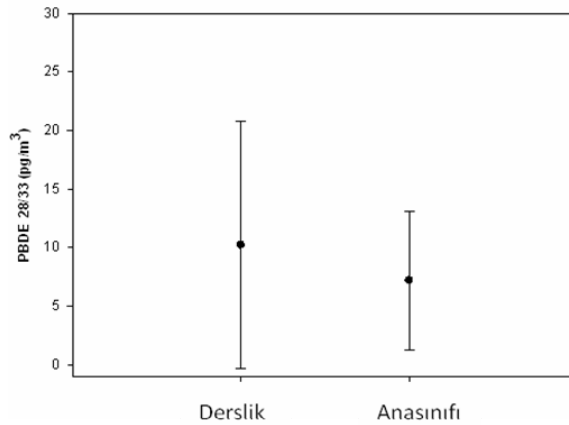
altından 42 pg/m^3 'e kadar değişen derişimlerde bulundu. Dersliklerde tespit edilen PBDE 28/33 derişimleri, anasınıfı derişimlerinden daha yüksek bulunmuştur. Şekil 2'de derslikler ve anasınıfları için hesaplanan ortalama ve standart sapma değerleri gösterilmiştir. Dersliklerdeki ortalama derişim 10 pg/m^3 iken anasınıfları için bu değer 7 pg/m^3 olmuştur.



Şekil 1. Derslik ve ana sınıfında PCB izomeri derişimleri

Tablo 2. PBDE İzomerlerinin Bina-İçi Hava Örneklerinde Tespit Edilme Yüzdeleri

İzomer	PBDE 28/33	PBDE 47	PBDE 99	PBDE 100	PBDE 153	PBDE 154
>DL (%)	95	21	26	36	44	36

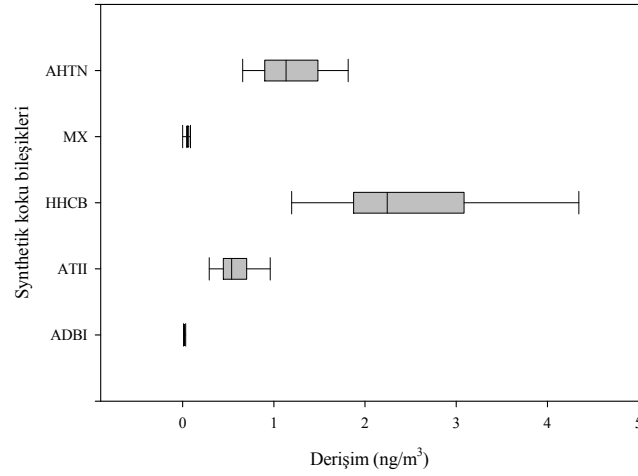


Şekil 2. Derslik ve Ana Sınıflarında PBDE 28/33 Derişimleri

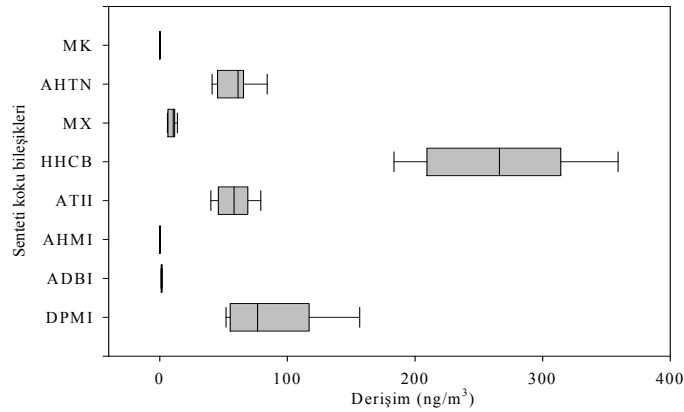
Sentetik Koku Bileşikleri

Sentetik koku bileşiklerinin, kısa dönemde (10 gün) gaz ve $\text{PM}_{2.5}$ partikül faz derişimleri Okul-2'nin 1. sınıflarından birinde daha sonra yapılacak çalışmalara alt yapı teşkil etmek üzere bir ön çalışma olarak yapılmıştır. Partikül fazda ($\text{PM}_{2.5}$), analizlenen 8 tane sentetik koku maddesinden 5 tanesi (HHCB, AHTN, ATII, MX ve ADBI), tespit edilmiş ve bunlardan dünya üretiminin yaklaşık %70'ini oluşturan HHCB ve AHTN'in diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür (bkz. Şekil 3). Derişimler, 0.05 ng/m^3 'ten (MX) 2.50 ng/m^3 'e (HHCB) kadar değişim göstermiştir. Analizi yapılan 8 bileşiğin hepsi gaz fazda tespit edilmiştir. Yine baskın bileşik HHCB olmuştur. Ortalama derişim değerleri 0.12 ng/m^3

(MK)'ten 267 ng/m³ (HHCB) arasında değişim göstermiştir (Şekil 4). Derişimlere bağlı sıralama ise HHCB > DPMI > AHTN > ATII > MX > ADBI > AHMI > MK şeklinde olmuştur.



Şekil 3. Derslikte Tespit Edilen Partikül Faz Derişimleri



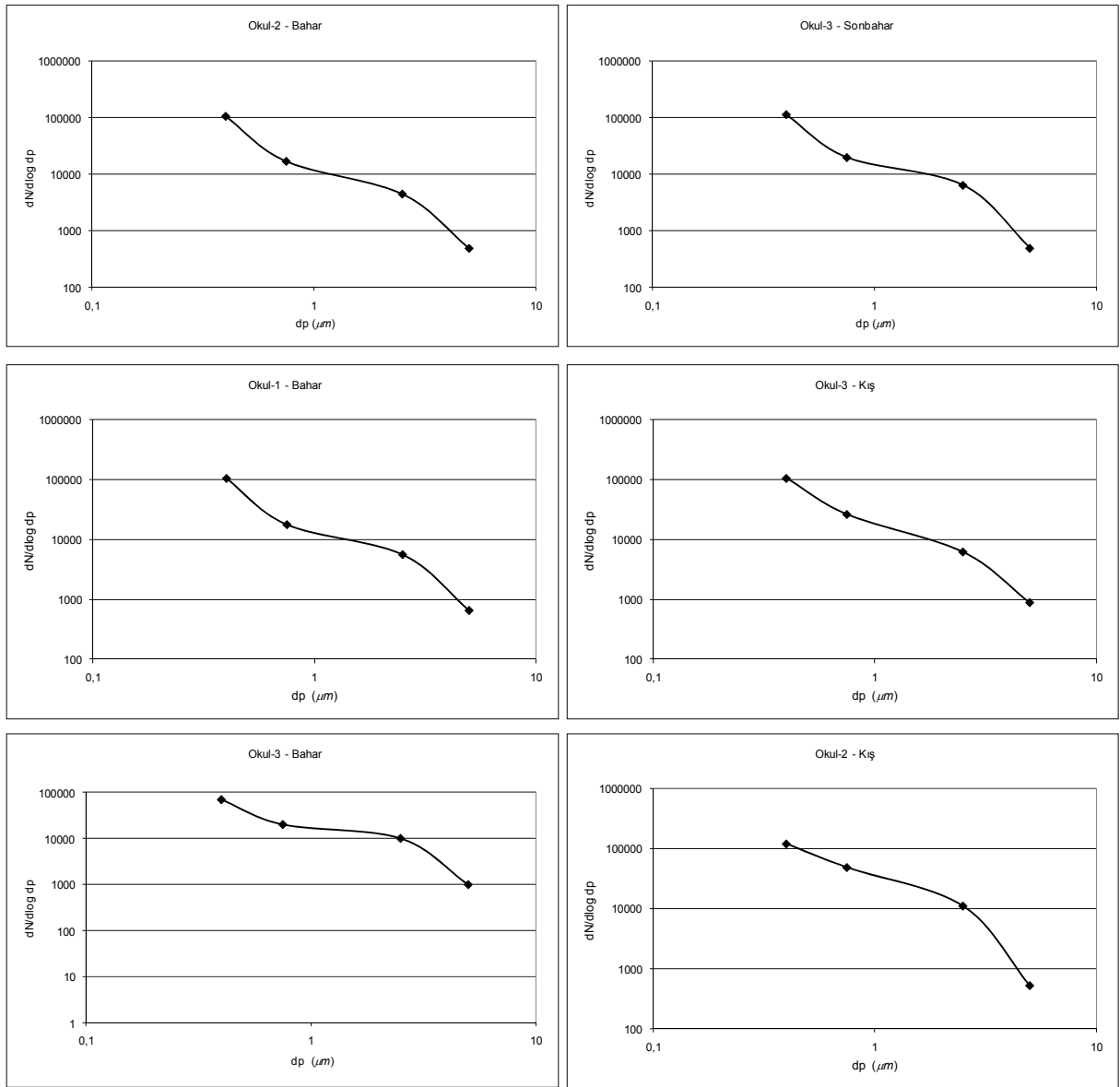
Şekil 4. Derslikte Tespit Edilen Gaz Faz Derişimleri

Sentetik koku maddeleriyle ilgili birçok çalışma, özellikle bu maddelerin kullanıldığı ürünlerin çevreye yayılma yolu atık su ile olduğundan, atık su çalışmalarını ve özellikle gelişmiş ülkelerde yapılan ölçümleri içermektedir. Su çalışmalarının çoğunda tespit edilemeyen DPMI, çalışmamızda oldukça yüksek konsantrasyonda tespit edilmiştir. Bunun daha çok kullanılan temizlik ve kişisel bakım ürünlerinde DPMI kullanımından kaynaklandığı düşünülmüştür. En azından ölçümün yapıldığı ilkokulda, ya temizlik maddeleri veya kişisel bakım ürünleri (şampuan, krem vs.) veya çamaşırlarda kullanılan yumuşatıcılarda DPMI bulunduğuna işaret etmektedir. Gaz ve partikül fazdaki dağılımına bakılınca sentetik koku maddelerinin çoğunluğu gaz fazda (%96) bulunmuştur. Yapılan bu çalışma bir gün içinde maruz kalınan, okulda geçen bir zaman dilimini yansıtmaktadır. Oysa okuldan daha fazla zaman geçirilen evler ve derişimlerinin daha yüksek düzeylerde bulunabileceği mikroçevreler de dikkate alınarak bir maruziyet hesaplandığında daha yüksek düzeylerle karşılaşılacağı aşikardır. Hesaplanacak bu toplam günlük maruziyet için gaz ve solunabilir partikül derişimleri dikkate alınarak yapılacak risk değerlendirmesine göre bu maddelerin kullanımı sınırlandırılması halk sağlığını, özellikle çocuk sağlığını korumak açısından uygun bir politika olacaktır. Bu çalışma ile ilgili detaylar proje sonuç raporunda [2] ve uluslararası literatür raporunda [6] bulunabilir.

Partikül Madde

Dane Sayısı – Boyut Dağılımları

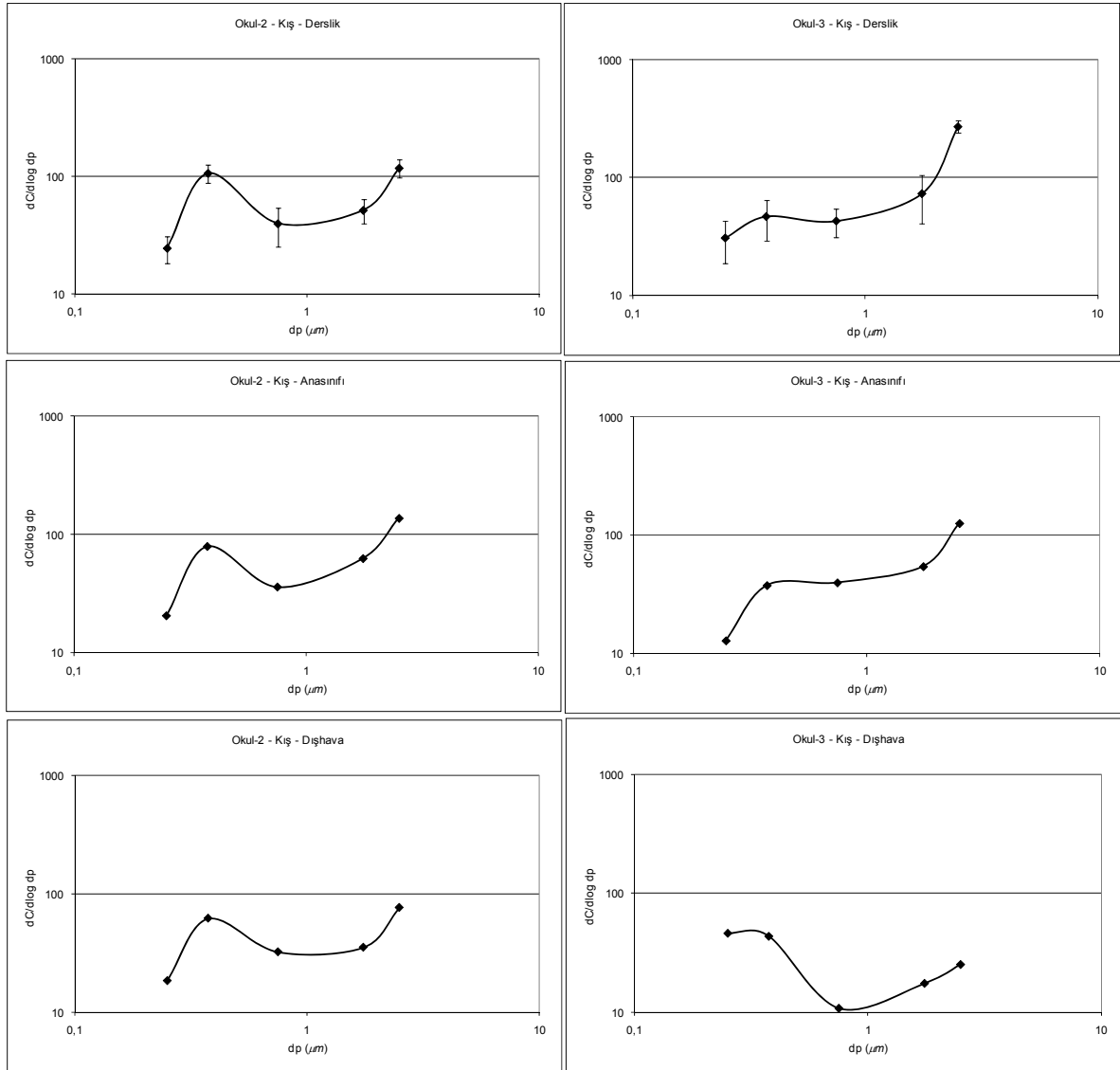
Partikül sayım cihazı ile bahar döneminde her üç okulda, kış döneminde Okul-2 ve -3'te, sonbahar döneminde ise Okul-2'de ölçüm yapılmıştır. Her bir boyut aralığı için (0,3-0,5 μm , 0,5-1,0 μm , 1,0-5,0 μm , >5 μm) derslik örnekleri üzerinden ortalama dane sayıları hesaplanarak dane sayısı – boyut dağılımları çizilmiştir. Bahar dönemi dağılımları incelendiğinde kentsel alanda yer alan Okul-1 ve -2 benzer iken, yarı-kentsel alanda yer alan Okul-3 farklı bir karakter göstermektedir. Okul-3'te, 1 ve 2'ye göre en küçük boyut aralığındaki dane sayısı daha az iken, en büyük iki boyut aralığında ise daha fazladır. Bu kentsel alan atmosferik ince (fine) partikül derişimlerinin, kentsel olmayan ve yarı-kentsel alanlara göre daha yüksek olduğu bilgisi ile örtüşmektedir. Bu iki çıkarım, bu çalışmada bahar dönemi derslik örneklerinin dış hava kaynaklı olmasının çok muhtemel olduğu sonucuna ulaşılmasını sağlamaktadır. Sonbahar ve kış dönemleri için kurulan boyut dağılımları, bahar dönemi kentsel alan (Okul-1 ve -2) ile oldukça benzerdir (bkz. Şekil 5).



Şekil 5. Derslik Partikül Dane Sayısı – Boyut Dağılımları

Kütle – Boyut Dağılımları

Kütle – boyut dağılımları Okul-2 ve Okul-3 için kış dönemi örneklemeleri sonucunda oluşturulmuştur. Okul-2’de, derslik ve anasınıfı kütle-boyut dağılımları karşılaştırıldığında her ikisinde de 0,25–0,50 μm aralığında bir pik görülmekte, >2,5 μm katmanında da bir pik yapmak üzere bir artış eğilimi görülmektedir. İstatistiksel olmamakla birlikte göreceli olarak ince partiküller olarak sınıflandırırsak ilk üç katmanda dersliklerde, göreceli daha büyük partikül katmanları olan son iki katmanda ise anasınıflarında daha yüksek derişimler gözlenmektedir. Ancak genel itibarla, her iki iç ortam için elde edilen dağılımların şekilleri benzerdir. Bina-içi ile dış hava karşılaştırması yaptığımızda yine şeklen benzerlik olduğu görülmüştür. Bu, partikül madde kaynağının aynı olduğu, yani dış havanın ana kaynak olduğu savını oluşturmaktadır.



Şekil 6. Partikül Kütle – Boyut Dağılımları

İç/Dış (İ/D) oranları esas alındığında, göreceli ince ve kaba partiküller arasında kaynak açısından bir fark olduğu göze çarpmaktadır. Göreceli ince partikülleri temsil eden ilk üç katman ($d_p(\mu\text{m}) < 0,25$, 0,5–0,25, 1,0–0,5) ile kaba partikülleri temsil eden son iki katmanın ($d_p(\mu\text{m})$ 2,5–1,0, >2,5) ortalama İ/D oranı karşılaştırıldığında (derslikler: 1,43–1,54, anasınıfları: 1,16–1,78), özellikle anasınıfları için göreceli kaba partiküllerin kaynağının ağırlıklı olarak dış hava olduğu, göreceli ince partiküller içinse

kaynak olarak dış havanın aynı oranda güçlü olmadığı, her iki kaynağın da etkin olduğu sonucu çıkmaktadır.

Okul-3'te, derslik ve anasınıfı kütle-boyut dağılımları karşılaştırıldığında, Okul-2'de 0,25–0,50 μm aralığında görülen pik, burada daha zayıf bir şekilde görülmektedir. Okul-2 ile benzer bir şekilde $>2,5 \mu\text{m}$ katmanında da bir pik yapmak üzere bir artış eğilimi görülmektedir. İstatistiksel olmamakla birlikte en ince partikül katmanında ($<0,25 \mu\text{m}$) dersliklerde, en büyük partikül katmanında ($>2,5 \mu\text{m}$) ise anasınıflarında daha yüksek derişimler gözlenmektedir. Ancak genel itibarla, her iki iç ortam için elde edilen dağılımların şekilleri benzerdir. Bina-içi ile dış hava karşılaştırması yaptığımızda ise Okul-2'den farklı olarak burada dış hava kütle-boyut dağılımı farklı olduğu için iç-dış benzerliğinden pek de bahsetmek mümkün değildir. Bu, partikül madde kaynağının aynı olduğu, yani dış havanın ana kaynak olduğu savına destek vermemektedir. İ/D oranlarını inceleyecek olursak, Okul-2'den farklı olarak bu oran değerlerinin geniş bir aralıkta değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Dersliklerde inceden kabaya doğru her bir katman için İ/D oranı 0,66; 1,07; 3,96; 4,18; 10,7 iken anasınıflarında 0,28; 0,86; 3,67; 3,10; 4,95 olarak belirlenmiştir. Bu okulda dikkati çeken, yine Okul-2'den farklı olarak ilk üç ince partikül katmanı yerine ilk iki katmanda oranların benzer ve diğer üst katmanlara göre düşük olduğu ve bunların >1 olmadığıdır. İlk ince katman ile diğer üç katman ortalama İ/D değerlerini karşılaştırırsak, dersliklerde 0,9 – 6,3; anasınıflarında 0,6–3,9 şeklinde olduğunu görmekteyiz. Bu da, ince partiküller (ilk iki katman, $d_p < 0,5 \mu\text{m}$) için hem iç hem de dış kaynakların etkili olduğunu, kaba partiküller içinse (son üç katman, $d_p > 0,5 \mu\text{m}$) iç kaynakların hakim olduğu sonucunu doğurmaktadır.

Doğal havalandırma yapılan bu binalarda, ısıtma sezonu olması sebebiyle kapı-pencerelerin açılması oranı düşük olmakta, bu da düşük havalandırma oranları ile sonuçlanmaktadır. İnfiltrasyonla dış havadan içeriye taşınım düşünüldüğünde, bunun ince partiküller için kaba olanlara göre daha yüksek oranda olduğu varsayımı yapılabilir. Dolayısıyla, çocukların koşuşturması ana aktivite olmak üzere insan aktiviteleri sebebiyle çökelmiş tozların yerden kalkması ve tekrar havaya karışması göreceli daha kaba partiküller için ana kaynağın içeride olması ile sonuçlanmaktadır. Görece ince partiküller içinse hem insan aktivitesi hem de dış havanın infiltrasyonu kaynak olmaktadır.

PM_{2,5} ve PM₁ Derişimleri

Kütle-boyut dağılımı için toplanan örneklerden hareketle belirlenen PM_{2,5} ve PM₁ derişimleri Tablo 3'te sunulmuştur. Buna göre, her iki boyut aralığı için de, derslik derişimleri anasınıfı derişimlerinden daha yüksektir. Anasınıfında PM_{2,5} içindeki PM₁ oranı dersliklere göre daha azdır. Bu duruma çocukların hareketinin anasınıfında daha kısıtlı olması, bu hareketle havalanan kaba partiküllerin anasınıfı yer döşemesi olarak tercih edilen halıda daha iyi tutulması, ve anasınıfı temizliğinin dersliklere göre daha iyi ve sık yapılmasının katkıda bulunduğu düşünülebilir. Her iki bina-içi mikroçevre için de iç/dış oranları hem dış hem de iç kaynakların katkıda bulunduğunu göstermektedir. Ancak, özellikle bina-içi sıcaklıkların güneşlenme sebebiyle yüksek olması sebebiyle pencere kullanımı ile daha fazla havalandırılan Okul-3'te dışarıdan içeriye taşınan kaba partiküllerin etkisiyle PM_{2,5} için PM₁'e göre daha büyük olduğu görülmektedir. İki-üç saatlik örnekler ile belirlenen PM_{2,5} derişimleri Dünya Sağlık Örgütü'nün 24-saatlik ortalama için rehber değeri olan $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve Kanada Sağlık Bakanlığınca yayınlanmış olan 8-saatlik ortalama PM_{2,5} maruziyet rehber değeri olan $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ düzeylerinin üzerinde bulunurken Kanada Sağlık Bakanlığının yayınladığı 1-saatlik ortalama rehber maruziyet düzeyinin ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) çoğunlukla altındadır.

Tablo 3. PM_{2,5} ve PM₁ Ortalama Kütlesele Derişimleri

PM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	OKUL-3				OKUL-2				PM ₁ / PM _{2,5}	
	PM _{2,5}	İ/D	PM ₁	İ/D	PM _{2,5}	İ/D	PM ₁	İ/D	OKUL-3	OKUL-2
DERSLİK	120	1,45	73	1,01	79	1,46	59	1,48	0,61	0,75
ANASINIFI	85	1,02	50	0,69	72	1,33	47	1,18	0,59	0,65
AÇIK HAVA	83		72		54		40		0,87	0,74

Partikül Maddede Elementel İçerik

Derslikler için ağırlıklı olarak yerküre kaynaklı olduğu düşünülen Al, Fe ve Mg ile ağırlıklı olarak insan aktiviteleri kaynaklı olduğu düşünülen As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni ve Pb için hesaplanan ince/kaba oranlarının genel ortalama değerleri karşılaştırıldığında, dış havada için bilinenin aksine büyük bir fark (sırasıyla birinci grup için 3,5'a karşı ikinci grup için 3,9) görülmemiştir. Hatta kış ve bahar dönemleri kendi içlerinde karşılaştırıldığında baharda insan kaynaklı elementlerin ince/kaba oranı kışın tersine (3,2'ye karşı 2,8) daha yüksek (3,9'a karşı 5,0) görülmüştür. Her okul için belirlenen ince/kaba oranları ayrı ayrı değerlendirildiğinde her iki mevsimde yapılan örneklemeler için de genellemeler yapılabilecek kendi içinde tutarlı sonuçlar bulunmamaktadır. Genel itibarla, her üç okulda, iki ayrı mevsimde belirlenen ince/kaba oranlarının büyük çoğunlukla >2 olduğu düşünülürse, aslen orijinal kaynaklarından bağımsız olarak tüm elementlerin benzer bir kaynaktan geldiği yargısına ulaşılabılır; ki bu yere çökelmiş toz taneciklerinin çok yoğun olan çocuk nüfusunun yine tenefüslerde ve öğle arasında yoğun hareketliliği sonucu tekrar havaya kalkması olabileceğidir. Her üç okulda, tüm yer döşemelerinin taş karolar şeklinde olduğu düşünülürse, tozun yerden kalkması bu tip yüzeylerde oldukça kolay olduğundan, ulaşılan bu yargının tutarlı olduğu sonucuna varılabilir. Anasınıfları için ağırlıklı olarak yerküre kaynaklı olduğu düşünülen Al, Fe ve Mg ile ağırlıklı olarak insan aktiviteleri kaynaklı olduğu düşünülen As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni ve Pb için hesaplanan ince/kaba oranlarının genel ortalama değerleri karşılaştırıldığında, dış havada için bilinenin aksine büyük bir fark (sırasıyla birinci grup için 4,0'a karşı ikinci grup için 4,5) görülmemiştir. Ancak bu fark, iki mevsim için ayrı ayrı düşünüldüğünde baharda çok benzerken (sırasıyla 3,8 ve 3,7) kışın daha belirgin bir fark görülmektedir (sırasıyla 4,2 ve 5,3). Genel itibarla, her üç okulda derslikler için olana benzer bir biçimde, iki ayrı mevsimde belirlenen ince/kaba oranlarının büyük çoğunlukla >2 olduğu düşünülürse, aslen orijinal kaynaklarından bağımsız olarak tüm elementlerin benzer bir kaynaktan geldiği yargısına ulaşılabılır; ki bu yere çökelmiş toz taneciklerinin çok yoğun çocuk hareketliliği sonucu tekrar havaya kalkması olabileceğidir. Dersliklerden farklı olarak anasınıflarında yer döşemesi olarak halı kullanıldığı ve/veya temizliğin daha dikkatli ve sık yapıldığı düşünülürse, göreceli büyük partiküllerin ya halı üzerinde daha iyi tutulduğu ya da temizlik ile (özellikle elektrikli süpürge yardımıyla) daha iyi toplanabildiği genel yargısı üzerinden, dersliklere göre ince/kaba oranlarının daha yüksek bulunması açıklanabilir. Her üç okulda da, halı haricindeki yer yüzeyleri (muşamba ya da vinil karo) temizliği günde en az iki defa paspaslama, halı yüzeyler ise elektrik süpürgesi ile günde bir defa temizlenmekteydi. Bu durumda, orijinal ana kaynağına bağlı olmaksızın tüm elementler için benzer ince/kaba oranları ile karşılaşmış olması kuvvetle muhtemeldir. Bu durumda, ince partiküllerin ağırlıkta olduğu bir bina-içi atmosfer içinde bulunan çocukların, ağırlıklı olarak kaba partiküllerin bulunması durumuna göre göreceli olarak sağlıkları açısından daha olumsuz şartlar altında buldukları söylenebilir.

İnorganik Gazlar

Karbon monoksit

Tüm ölçüm dönemlerinde hem derslik hem de anasınıfı anlık CO derişimleri, kış dönemi ölçümlerinde neredeyse tamamıyla, bahar ve sonbahar dönemlerinde ise tamamıyla tespit sınırının (1 ppm) altında kalmıştır. Bu durum, bina-içi güçlü yanma kaynaklarının – en azından test hacminin bulunduğu bloklarda – bulunmadığı çıkarımını yapmamıza yol açmaktadır. Her üç okulda da, kantin / kafeterya ve kalorifer dairesi test hacminin bulunduğu binada değildi. Bir diğer eksik yanma kaynağı olan sigaranın içilmesine kentsel alanda yer alan iki okulda sadece bir öğretmenler odasında mücade ediliyordu; Okul-3'te ise yasaktı. Bu çalışmada örneklenen okulların hiçbirisinde yemekhane bulunmadığından pişirme aktivitesi de bir kaynak olarak etkide bulunmamıştır, dolayısıyla yemekhane ve diğer olası yanma kaynaklarının bulunduğu okullarda daha yüksek derişimler beklenebilir. Sonuç olarak bu projede incelenen okullar için ölçülen düşük derişimler sebebiyle herhangi önemli bir sağlık etkisi beklenmemektedir.

Ozon

Ozon ölçümü sadece bina-içi havada yapılmıştır. Ozon izleme cihazı, her üç okulda da, test hacminin bulunduğu binada bir koridora yerleştirilmiştir. Her üç okulda da, cihazın hava alma ağız çocukların erişiminden korumak amacıyla yerden yaklaşık 2 m yükseklikte olacak şekilde yerleştirilmiştir. Ölçümler Okul-2'de kış, bahar ve güz dönemlerinde, Okul-3'de kış ve güz dönemlerinde, Okul-1'de ise sadece güz döneminde yapılmıştır. İzmir'de üç ilköğretim okulunda ölçülen ozon derişimlerinin günlük

değişkenliği olduğu, derişimler gece, sabah erken ve akşam saatlerinde tespit sınırının altında ya da düşük iken, öğleye doğru yükselişe geçtiği, öğleden sonra zirve yaptıktan sonra akşamüstü tekrar düştüğü gözlenmiştir. Dönemsel ortalama derişimler, 0,8 ilâ 4,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında değişmiş, ölçülen en yüksek saatlik ortalama derişim 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olmuştur. Bu derişimler, hassas insanlarda sağlık etkilerinin görülme sınırı olarak kabul edilen 170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (8 saatlik ortalama) ve 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 saatlik ortalama) derişimlerinin altında kalmaktadır. Bulgular, iç hava ozon derişimlerinin, dış hava ozonu ile ilintili olduğunu, dış hava sıcaklığı, nispi nem, ve pek muhtemel olarak güneşlenmenin derişimleri açıklayan önemli etkenler olduğunu göstermiştir. Haftaiçi ile haftasonu günleri arasındaki derişim farkı bu savı desteklemektedir. Tabii ki buradan ozonun önemli bir bina-içi hava kirleticisi olmadığı sonucu çıkarılmamaktadır. Çünkü, içeride yüzey reaksiyonlarıyla oluşan ürünler en az ozon kadar ya da daha tehlikeli sağlık etkileri olan maddelerdir. Bu projede incelenen ve ülkemiz genelinde de uygulamada olan doğal havalandırma yapılan binalarda ozonun gün içinde yüksek olduğu zamanlarda dışarıdan içeriye alınan hava miktarını azaltmak suretiyle bina sakinlerinin – ki okullarda çocuklar hassas gruptur– ozon ve kimyası ürünlerine maruziyetlerinin en aza indirilmeye çalışılması gerekmektedir. Bu tedbire ek olarak, içeride oda kokusu, parfüm vs. gibi kişisel bakım ürünleri, katkılı temizlik maddeleri, fotokopi-yazıcı, yere yapıştırılan duvardan duvara halı ve muşamba yer döşemesi kullanımından kaçınılması ve düzenli temizlik ile yüzeylerde toz birikiminin engellenmesi, ozon ile tepkimeye girecek organik bileşiklerin bina-içi havaya salıverilmesini azaltacağından faydalı olacaktır.

Bina-içi Çevresel Konfor Değişkenleri

Sıcaklık ve Nispi Nem

Her üç dönem iç hava sıcaklıkları değerlendirildiğinde, hem aşağı hem de yukarı doğru, sıklıkla 19–25°C (22°C optimum) konfor aralığı [7] dışında kalındığı ortaya çıkmaktadır. Sıcaklık da dahil olmak üzere konfor değişkenlerinin belirlenen konfor aralıkları dışında bulunduğu ölçümlerin oranları derslikler için Tablo 4'te sunulmuştur. Tüm dönemler birlikte değerlendirildiğinde ortalama sıcaklıkların dersliklerde %36, anasınıflarında ise %18'inin bu aralığın dışında kaldığı görülmüştür. Aralık dışında kalan değerler incelendiğinde çoğunluğu dersliklerde düşük sıcaklıkların oluşturduğu (%22'ye karşı %14), anasınıflarında ise eşit bir dağılım oluşmuş olduğu (her iki durum için de %9) görülmüştür. Dolayısıyla, derslikler için sıcaklıklar açısından önemli oranda konfor aralığı dışında kalındığını bunun da ağırlıkla düşük ortalama sıcaklıklar sebebiyle oluştuğu ve dersliklere nazaran anasınıflarında daha iyi sıcaklık kontrolü yapılabildiği ana çıkarımı yapılabilir. Bu duruma sebep, neredeyse tüm kış iç sıcaklıklarının konfor aralığı dışında kalması olarak gösterilebilir çünkü güz ve bahar kampanyalarında bu durum ile bir kampanya dışında değerlerin sadece %20'sinden daha azında karşılaşılmıştır.

Nispi nem içinde konfor aralığı %35–55 (optimum %50) olarak kabul edilebilir [7]. Genel itibarla, hem derslik hem de anasınıflarında çoğunlukla konfor aralığının üzerinde nem oranları ile karşılaşıldığı görülmektedir. Derslikler için bu durum, ortalama değerler esas alındığında %57'sinde, anasınıfları içinde %64'ünde oluşmuştur. Yüzde 35'ten daha düşük nem oranları ile dersliklerde karşılaşılmazken, anasınıflarında bu durum düşük bir oranda (%4) görülmüştür. Herhangi bir mekanik havalandırma yapısının bulunmadığı ve doğal havalandırma yapıldığı düşünülürse, İzmir havasının nemli olması sebebiyle böyle bir durumun oluştuğu savı kurulabilir.

Tablo 4. Dersliklerde Konfor Aralığı Dışında Bulunan Ölçümlerin Oranları (%)

		T	RH	IŞ	CO ₂
Okul-1	Kış	78	44	100	78
	Bahar	11	11	67	67
	Sonbahar	11	67	67	67
Okul-2	Kış	33	100	100	83
	Bahar	78	22	100	78
	Sonbahar	0	67	100	67
Okul-3	Kış	83	83	100	83
	Bahar	17	83	33	83
	Sonbahar	17	67	100	17

Işık Şiddeti

Işık şiddeti açısından, sıcaklık ve nispi nem gibi açık bir konfor aralığı tanımlamak pek de mümkün değildir, çünkü gerekli ışık, yapılan faaliyet ile ilgili olup kişiden kişiye epey farklılık gösterebilmektedir. Okullarda genelde yapılan faaliyet olan okuma için Illuminating Engineering Society of North America [8] tarafından harflerin büyüklüğüne veya kontrast seviyesine göre tavsiye edilen ışık şiddeti değerleri 200 ilâ 2000 lux arasındadır. Bu projede ölçülen değerlere bakıldığında dersliklerde genelde yetersiz, anasınıflarında ise belirtilen aralıkta ışık şiddeti seviyeleri ölçüldüğü görülmektedir. Dersliklerde ölçülen değerlerin hiçbiri 2000 lux düzeyini aşmazken %86'sı 200 düzeyinin altında kalmıştır. Her üç okuldaki kış ölçümlerinin tamamı <200 iken güz ve bahar dönemlerinde bu oran %33 ilâ %67 arasında değişkenlik göstermiştir. Bu duruma sebep olarak yetersiz pencere yüzey alanı gösterilemez; hatta çoğu zaman güneşli bir yerleşim yeri olan İzmir'de bina-içi sıcaklıkları artırması ve pencereye yakın yerleşmiş sıralardaki çocukları rahatsız etmesi sebebiyle her üç okulda da perde kullanımı görülmüştür. Öyle ki, sınıfları günboynu güneş alan Okul-3'teki örnekleme yapılan sınıfta siyah renkli stor perde kullanılmaktaydı. Diğer iki okuldaki dersliklerde de kumaş perdeler bulunuyordu. Güneş ışınlarından sıcaklık sebebiyle duyulan rahatsızlık sonucu perdelerin kapatılması sonucu yetersiz ışıklandırma sonucu ile karşılaşıldığı görüşünü oluşturmuş bulunmaktayız. Sıcaklıkta olduğu gibi, anasınıflarında ışık kontrolü dersliklere göre daha iyi düzeydedir. Yine >2000 lux seviyesinde ölçüm bulunmazken, <200 seviyesindeki ölçümlerin oranı %48 düzeyinde kalmıştır. Yani, ışık şiddeti, olması gereken aralığın içinde dersliklerde sadece %14 oranında ölçülürken bu oran anasınıflarında %52 düzeyinde olmuştur. Sonuç olarak, perde tipi seçiminde bütün halinde açılıp-kapıtılan stor veya kumaş perdeler yerine açıklık oranı tüm pencere yüzeyinde homojen bir şekilde ve yataylara göre daha iyi ayarlanabilen dikey jaluzi tipi perdelerin tercih edilmesi konfor şartlarının sağlanmasında etkili olacaktır.

Karbon Dioksit

Ölçmüş olduğumuz son konfor değişkeni, CO₂, aslında bir gösterge olarak kullanılmaktadır. Bir iç ortamdaki CO₂ derişimi oradaki kişi başına havalandırmanın yeterli olup olmadığını bir ölçütü olarak düşünülmektedir. Ortamda bulunan insanların nefesleriyle iç havaya verdikleri CO₂, eğer havalandırma yetersiz ise 1000 ppm düzeyini aşmaktadır. Bina-içi CO₂ derişimindeki, dış havaya göre, her 1000 ppm düzeyinde artış ile okula devamsızlıkta %10-20 düzeyinde artış arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir [9]. Sınıflarda derişimlerin 4000 ppm düzeylerine kadar yükselebildiği belirtilmiştir [10]. Bu projede ölçülen CO₂ derişimlerine göre anasınıflarındaki kişi başı havalandırma genellikle yeterli (CO₂<1000 ppm) iken dersliklerde bunun tersi bir durum söz konusu olduğu görülmektedir. Dersliklerde, dokuz ölçüm kampanyasının sekizinde ortalama derişim >1000 ppm olmuştur. Yetersiz havalandırma, anasınıflarında ise sadece dört dönemde oluşmuştur. Ölçümler içinde >1000 ppm olanların oranı dikkate alındığında dersliklerde bu durumla %70 oranında karşılaşılrken anasınıflarında bu oranın %55 olduğu görülmüştür. Tablo 4'te görüldüğü üzere her üç okulda en yüksek konfor dışı oranlar kış mevsiminde görülürken en düşükler güz döneminde kaydedilmiştir. Bu durumda ölçüm yapılan dönemler içinde havalandırmanın en yetersiz olduğu dönem kış mevsimidir. Bu, doğal havalandırma sebebiyle beklencek bir durum olup soğuk hava nedeniyle pencerelerin az veya hiç açılmamasına işaret etmektedir. Bahar mevsimi oranlarının güze göre yüksek olması ise her iki dönemde de pencereler devamlı surette açık olduğundan beklenen bir durum olmayıp güneş ışınlarından korunmak amacıyla baharda perdelerin kapalı tutularak havalandırmanın engellenmesi ve sıcak geçen günlerde hava hareketinin görece azlığı nedeniyle doğal havalandırmanın etkin biçimde gerçekleşmemiş olması ile açıklanabilir. Üç okul içinde Okul-3'te örnekleme yapılan sınıfta klima bulunmaktadır ve ölçümlerin yapıldığı Mayıs ayında kullanılmıştır. Nitekim, 1000 ppm düzeyi kış mevsimindeki oranla aynı seviyede aşılmış, havalandırma yetersiz kalmıştır.

Bina-içi Hava Kalitesi İle İlgili Semptom ve Hastalıkların Yaygınlıkları

Hava kirliliği, genel olarak dış mekânla ilişkilendirilse de, aslında, iç mekânları da yakından ilgilendiren ciddi bir problemdir. İnsanların zamanlarının çoğunu bina-içi ortamlarda geçirdikleri yapılan çalışmalarla belirlenmiştir; dolayısıyla, bina-içi hava kalitesinin düşük olması birçok sağlık problemini beraberinde getirebilmektedir. Ülkemizde, Sofuoğlu ve arkadaşlarının [11] yaptığı çalışma, katılımcıların günde zamanlarının ortalama %79'unu iç mekânlarda geçirdiğini ortaya koymuştur. Üst

solunum yolu rahatsızlıkları, baş ağrısı, hafıza ve konsantrasyon problemleri, astım ve alerjik enfeksiyonlar düşük bina-içi hava kalitesi ile ilişkilendirilebilecek sağlık sorunlarının başında gelmektedir. Anket uygulaması yoluyla çocukların semptomları ve hastalıkları ile ilgili bilgiler toplanmış ve sonuçları bir önceki TESKON – İç Hava Kalitesi Sempozyumunda sunulmuştu [12]; dolayısıyla, burada çok kısa olarak bahsedilecektir.

Uygulama sonucunda, öğrencilerde astım ve alerjinin en sık rastlanan sağlık problemleri olduğu belirlenmiştir. Bunun yanısıra, hem öğrencilerin hem de öğretmenlerin sınıfları çok sıcak ve havasız buldukları ve son 4 hafta içerisinde okulda en çok gözlemlediklerinin “kötü koku” olduğu sırasıyla %53 ve %80 oranlarında belirtilmiştir. Diğer taraftan, çocuklar üzerinde bina-içi hava kalitesi nedeniyle oluşabilecek genel semptomların son 4 hafta içinde büyük çoğunlukla gözlemlenmediği ama bu durumun öğretmenler için geçerli olmadığı saptanmıştır. Literatürde yer alan çalışmalarla bu sonuçlar karşılaştırılacak olursa, egzema gibi bazı semptomların literatür değerlerine yakın olduğu fakat bu durumun sinüzit için geçerli olmadığı görülmüştür. Bina-içi hava kalitesi ile ilgili olabileceği düşünülen sağlık semptomları arasından ise sinüs tıkanıklığı ve göğüs sıkışmasının literatür değerleri ile örtüştüğü belirlenmiştir.

SONUÇ

Bu çalışma, İzmir’de seçilen üç ilköğretim okulunda bina-içi çevresel kaliteyi ve öğrencilerin semptomatik durumlarını belirlemeyi amaçlamıştır. Bina-içi çevresel kalite ölçümleri çerçevesinde bina-içi hava kalitesi ve çevresel konfor değişkenlerinin seviyeleri ölçülmüştür. Ölçülen bina-içi hava kirleticileri arasında CO, O₃, boyut ayırmalı partikül madde, partiküllerde elementler, partikül ve gaz fazlarında yarı-uçucu organik bileşikler ve UOB’ler yer almıştır. Örneklem, okulların açık bulunduğu üç mevsimi (sonbahar, kış, ilkbahar) kapsayacak şekilde planlanmış, ancak bu planlama farklı kirleticiler için şartlar çerçevesinde farklı düzeylerde gerçekleşmiştir. Okul içinde öğrencilerin vakitlerini geçirdikleri üç ana mikroçevrede (derslik, anasınıfı, açık hava oyun bahçesi) örneklem ve ölçümler yapılmıştır.

Uçucu organik bileşiklerin derslik ve anasınıflarında farklı profil gösterdikleri ve bunların dış havadan da farklı olduğu görülmüştür. Örneklemesi yapılan uçucu organik bileşiklerden formaldehit, benzen, naftalin, toluen ve 1,3-diklorobenzenin yüksek bina-içi derişimlere ulaşabildiği görülmüş, ve formaldehit ve benzenin birincil düzeyde, naftalin ve toluenin de ikincil düzeyde önemli sağlık riski yaratabileceği değerlendirilmiştir. Yarı-uçucu organik bileşiklerden poliklorlu bifeniller ve polibromlu difenil eterler grubu kirleticilerin bina-içi havada buldukları ve içeride kaynakları olabileceği görülürken, sentetik koku bileşiklerinin bir derslikte yapılan çalışma ile okul binalarında hem gaz hem de partikül fazda bulunabildikleri ve gaz fazda önemli düzeyde derişimlere eriştikleri belirlenmiştir. Bu düzeyler, birincil maruziyet yolu olan deriden emilime ilaveten, ikincil yol olarak ev ile birlikte okulda maruziyetin önemli olabileceği yolundadır. İnorganik gazlardan ozon için, bulgular iç hava ozon derişimlerinin, dış hava ozonu ile ilintili olduğunu ve hassas insanlarda sağlık etkisi yaratma sınırının altında kaldığı yönündedir. Karbon monoksit ise neredeyse tüm ölçümlerde ya tespit sınırı olan 1 ppm’in altında ya da oldukça düşük derişimlerde bulunmuştur. Partikül madde için elde edilen dane sayısı – boyut dağılımları, kütle – boyut dağılımları, bina-içi hava ve dış hava derişimi bulguları, partikül madde kaynağının dış hava olduğu ancak çocukların hareketliliği sebebiyle bina-içi mikroçevrelerde derişimlerin dış hava derişimlerinin üzerine çıkabildiğini göstermiştir. Boyut ayırmalı kütleli PM derişimleri göstermektedir ki, ince partiküllerin (PM_{2,5}) çoğunluğu ultra ince partiküllerdir (PM₁) ve ultra ince partiküller ince partiküllere göre sayıca 2-5 kat daha yüksek derişimlerde bulunmaktadır. Partikül maddede Al, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Zn elementleri tespit edilmiş olup kütle-boyut dağılımlarının ultra ince boyutlarında görülen zirveler, hem ağırlıklı yerküre kaynaklı hem de ağırlıklı insan aktiviteleri kaynaklı elementler için ultra ince fraksiyonun önemli olduğunu göstermiştir. Bu fraksiyon, solunum sisteminde derinlere kadar nüfuz eden partiküllerden oluştuğuna göre tespit edilen elementlerin hesaplandığında maruziyet dozları yüksek olmasa bile önem arz ettikleri çıkarımı yapılabilir. Anket uygulaması sonucunda, hem öğrencilerin hem de öğretmenlerin sınıfları çok sıcak ve havasız buldukları ve en çok “kötü koku”dan rahatsız oldukları belirlenmiştir. Diğer taraftan, çocuklar

üzerinde bina-içi hava kalitesi nedeniyle oluşabilecek genel semptomların büyük çoğunlukla gözlemlenmediği ama bu durumun öğretmenler için geçerli olmadığı saptanmıştır.

Pratik Öneriler

Bu çalıma sırasındaki gözlemlerimize istinaden, bina-içi çevresel kalite ile ilgili bazı konularda, Milli Eğitim Bakanlığı'ndan başlayarak üst düzey yöneticiler, yöneticiler ve öğretmenlerimiz nezdinde, çocuk ve öğretmen sağlığını korumak üzere, bilinç oluşturulması gerekmektedir. Sağlık Bakanlığı'nın uygulayıcısı olduğu ve Türk Toraks Derneği'nin liderliğinde çok sayıda kurum ve kuruluşun içinde yer aldığı GARD – T.C. Kronik Hava Yolu Hastalıkları (Astım-KOAH) Ulusal Kontrol Programı'nın bu konuları da içeren faaliyetleri [13-14] bulunmaktadır. Bilinç oluşturulması gerektiğini düşündüğümüz konuları şöyle sıralayabiliriz:

- Anasınıflarında uçucu ve yarı-uçucu organik madde emisyonu yapabilecek polivinil yer döşemesi gibi malzemelerin kullanıldığı gözlemlenmiştir. Emisyonu yüksek yapı ve döşeme malzemelerinin, dekoratif malzemelerin, kırtasiye malzemelerinin anasınıflarında ve sınıflarda kullanılmaması gerekmektedir.
- Literatürde yayınlanmış çalışmalara göre duvardan duvara halı yer döşemesi çeşitli açılardan risk oluşturmaktadır. Bunlardan birisi, bu projenin kapsamı içinde yer almayan ancak büyük önem taşıyan biyolojik ajanlardır. Halının altında kalan yüzey soğuk olduğunda, arada su buharı yoğunlaşması olmakta ve mikroorganizmaların üremesi için uygun ortam oluşturmaktadır. Ayrıca, halı tüyleri arasında toz akarı gibi mikroorganizmalar uygun yaşam ortamı bulmaktadırlar. Toz parçacıkları açısından da bir depo görevi gören halılar eğer temiz tutulmazlarsa birer kirletici kaynağı haline gelmektedirler. Bir diğer unsur da, eğer halı yere yapıştırılırsa, kullanılan yapıştırıcıdan çeşitli uçucu organik bileşikler, ki bazıları toksik ve/veya kanserojenik olabilirler, bina-içi havaya salıverilmektedirler.
- Okullarda boya-badana işleri tatilde çocuklar okulda değilken yapılmaktadır. Buna ek olarak, su bazlı boyaların kullanıldığından emin olunmalıdır. Özellikle, yerden 1.5 metre yüksekliğe kadar yapılan ikinci bir kat duvar boyası genelde solvent bazlı boya ile yapılmaktadır. Bununla birlikte, ısıtma sistemi (kalfifer) radyatörleri de bu boya ile boyanabilmektedir. Isıtma sistemi çalıştırıldığında çok yüksek emisyon oluşmakta, ortaya çıkan koku dayanılması zor seviyelere ulaşmaktadır. Kokunun bu seviyelere ulaşması, toksik ve kanserojenik etkileri olabilecek uçucu organik bileşiklerin yüksek emisyonla bina-içi havaya salıverildiğine işarettir. Bu durumda önemli derecede uçucu organik bileşik maruziyeti olduğu var sayılabilir. Boyama için su bazlı boya tercih edilmesi ve ısıtma sisteminin okul tatilde iken 3 – 7 gün çalıştırılarak emisyonun büyük kısmının gerçekleşmesi sağlanmalıdır.
- Eğer binada yemek pişirilmesi söz konusu ise gerek yakılan yakıtın yanması sırasında gerekse kızartma gibi yemek pişirme işlemleri sırasında önemli düzeylerde uçucu organik bileşikler ve partikül madde havaya salıverildiğinden mutfak ile binanın kalanı arasında direk irtibatının olmaması ve oluşan buharların direk dışarıya atılması gerekmektedir.
- Özellikle dış havanın soğuk olduğu mevsimlerde öğretmen veya öğrencilerin pencereleri açmaları gerekmeden havalandırma gerçekleşebilmesi için tedbirlerin alınması gerekmektedir; çünkü sadece kapı-pencereye dayalı doğal havalandırma olan binalarda bunlar açılmadığı zaman havalandırma yetersiz düzeylere inmektedir ve içeride kaynağı olan tüm kirleticilerin birikimi ile sonuçlanıp derişimleri artmaktadır. Bu çalışmada ölçülen CO₂ derişimleri dersliklerde yetersiz havalandırmaya işaret etmektedir.
- Ancak, ağırlıklı kaynağı dış hava olan kirleticiler açısından, bina-içi havanın dış havadan tecrit edilmesi bir korunma yöntemi olarak da uygulanabilir. Bu kirleticiler arasında en yaygın olanları trafik emisyonları (egsoz gazları), partikül madde ve ozon olarak isimlendirilebilir. Yüksek yoğunluklu yerleşim olan trafiği kalabalık kentsel alanlarda yer alan binalarda, yaz aylarında dış havada oluşan ozon derişimlerinin zirve yaptığı saatlerde; trafiğin yoğun olduğu dolayısıyla egsoz emisyonlarından çeşitli kirletici (uçucu organik bileşikler, PM, NO_x, PAH vs.) derişimlerinin arttığı saatlerde; havada tozun yoğun olduğu günlerde – periyotlarda (örneğin, kışın sıcaklık terselmesi saatlerinde) bu yolun izlenmesi içeride bu kirleticilerden korunma sağlayacaktır.
- Temizlik – özellikle elektrik süpürgesi ile yapılan temizlik – sırasında, bina-içi havanın kalkan tozdan korunması amacıyla iyi havalandırılması gerekmektedir. Bu konuda bilinç oluşturulması gerekmektedir. Tozu filtre yerine suda yakalayan elektrik süpürgelerinin insan sağlığının korunması için teşvik edilmesi faydalı olacaktır.

- Katkı maddeleri içeren temizlik ürünleri yerine daha doğal olanların tercih edilmesi insanların birçok sentetik kimyasal maddeye maruz kalmalarını engelleyecektir. Bu ürünlerde kullanılan katkı maddeleri arasında ciddi sağlık etkileri yaratabilecek olanlar bulunmaktadır. Ayrıca, bazı kimyasal maddeler bina-içi havada kimyasal tepkimelerde yer almakta ve ikincil (ara ve son ürün) kirleticilerin oluşumuna meydan vermektedir. Ek olarak, klorak (çamaşır suyu) içeren temizlik ürünleri kullanımı sırasında ve sonrasında, içeriğinde bulunan klorun çeşitli organik maddeler ile tepkimeye girmesi sonucu ara, yan ve son ürün başka kimyasallar oluşabilmektedir. Dolayısıyla, dezenfeksiyon amaçlı kullanım kaçınılmaz olduğunda seyreltik kullanılmaları sorunu en aza indirecektir. Yine, kokulu - katkı maddeli temizlik ürünleri yerine arap sabunu gibi basit ve daha doğal maddelerin temizlik için tercih edilmesi çocukların bir çok birincil ve ikincil kirleticiye bu yolla maruziyetini en aza indirecektir.
- Kalabalık binalarda insanların hareketliliği sonucu yerlere çökelmiş olan toz tanecikleri havalandırılarak tekrar uçan toz haline gelmektedir. Okullarda, bu durum çocukların koşuşturmaları sebebiyle çok daha yüksek bir düzeyde gerçekleşmektedir. Dolayısıyla, temizlik faaliyetlerinin yerden toz kalkmasını en aza indirecek şekilde yapılması oldukça önem taşımaktadır. Birincil bir kirletici olan PM aynı zamanda bünyesinde depolanan yarı-uçucu organik bileşikler ve iz elementler gibi kirleticileri ciğerlere taşıyan bir taşıttır. Yatay yüzeylerde çökelmiş halde iken ise depolanan bu kirleticilerin birer kaynağı haline gelmektedir. Sonuç olarak, temizlik yöntemi ve sıklığı çocukların ve öğretmenlerin sağlığının korunması açısından oldukça önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] MENDELL, M.J., HEATH., G.A., 2005. "Do Indoor Pollutants and Thermal Conditions in schools Influence Student Performance? A Critical Review of the Literature", *Indoor Air*, 15, 27–52.
- [2] SOFUOĞLU, S.C. vd., "İlköğretim Okullarında Bina-İçi Çevresel Kalitenin Değerlendirilmesi," 105Y263 nolu araştırma projesi sonuç raporu, TÜBİTAK, 2010.
- [3] SOFUOĞLU, SC., ASLAN, G., INAL, F., SOFUOĞLU, A., 2010. "An assessment of indoor air concentrations and health risks of volatile organic compounds in three primary schools" *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, basımda (doi: 10.1007/s11356-010-0378-z).
- [4] JAWARD, F M, FARRAR, N J, HARNER, T, vd. 2004. Passive air sampling of PCBs, PBDEs, and organochlorine pesticides across Europe. *Environmental Science and Technology*, 38, 34–41.
- [5] JAWARD, F M, Zhang, G, Nam, J J, vd. 2005. Passive air sampling of polychlorinated biphenyls, organochlorine compounds, and polybrominated diphenyl ethers across Asia. *Environmental Science and Technology*, 39, 8638–8645.
- [6] SOFUOĞLU, A., KIYMET, N., KAVCAR, P., SOFUOĞLU, SC., 2010. "Polycyclic and Nitro Musks in Indoor Air: a Primary School Classroom and a Women's Sport Center" *Indoor Air*, 20, 515-522.
- [7] MOSCHANDREAS, D.J. and SOFUOĞLU, S.C., 2004. "The Indoor Environmental Index and Its Relationship with Symptoms of Office Building Occupants," *Journal of Air and Waste Management Association*, 54, 1440-1451.
- [8] IESNA, Illuminating Engineering Society of North America. "Lighting Handbook" Rea, M.S., ed., New York, NY. 2000.
- [9] SHENDELL, D.G., PRILL, R., FISK, W.J., APTE, M.G., BLAKE, D., FAULKNER, D., 2004. "Associations between classroom CO₂ concentrations and student attendance in Washington and Idaho" *Indoor Air*, 14, 333-341.
- [10] CLEMENTS-CROOME, D.J., AWBİ, H.B., BAKO´-BİRO´, ZS., KOCHHAR, N., WILLIAMS, M., 2008. "Ventilation rates in schools" *Building and Environment*, 43, 362–367.
- [11] SOFUOĞLU, S.C., BAYTAK, D., BAYRAM, A., vd., 2008. "İzmir-İliyağa'da Hava Kirleticilerine Maruziyet ve Bundan Kaynaklanan Sağlık Riskleri", 3.Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 22-24 Ekim 2008, Antakya, sf. 686-698.
- [12] TURAN, D., KOCAHAKİMOĞLU, C., KAVCAR, P., SOFUOĞLU, S.C., 2009. "İlköğretim Okullarında Bina-İçi Hava Kalitesi ile İlgili Sağlık Semptomlarının Yaygınlığı", İç Hava Kalitesi Sempozyumu, Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 6-9 Mayıs 2009, İzmir, sf. 707-714.
- [13] <http://www.saglik.gov.tr/GARD>

[14] TC SAĞLIK BAKANLIĞI, 2010. “Türkiye'nin Hava Kirliliği ve İklim Değişikliği Sorunlarına Sağlık Açısından Yaklaşım,” Sağlık Bakanlığı Yayın No: 811, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Sait C. SOFUOĞLU

DEÜ Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'den mezun oldu. İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak iki yıl çalıştı. Öğrenimine ABD'de devam edip yüksek lisans ve doktorasını Illinois Institute of Technology'den aldı. Süleyman Demirel Üniversitesi Çevre Mühendisliği ve İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kimya Mühendisliği bölümlerinde Yardımcı Doçent ünvanı ile çalışan SC Sofuoğlu, halen İYTE'de Doçent ünvanı ile öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Bina-içi hava kirliliği, hava kirliliği, ve maruziyet ve risk değerlendirmesi konularında araştırmalar yapmakta ve bu konularda dersler vermektedir.

Aysun SOFUOĞLU

İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'den mezun oldu. Yüksek lisans derecesini University of Wisconsin at Madison Çevre Mühendisliği Bölümünden, doktora derecesini Illinois Institute of Technology Çevre Mühendisliği Bölümünden aldı. 2000 yılında, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kimya Mühendisliği Bölümünde başladığı öğretim üyeliği görevine, aynı kurumda Doçent ünvanı ile devam etmektedir. Hava kirliliği ve bina-içi hava kirliliği konularında araştırmalar yapmakta olan Aysun Sofuoğlu kalıcı organik kirleticilerin taşınımı, kuru birikim, ve hava kirliliğinin malzemeler üzerinde etkileri konularında çalışmaktadır.